

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 08 NOV 2004

WPPC POT

EP04/10761

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 45 087.4

Anmeldetag: 26. September 2003

Anmelder/Inhaber: Peguform GmbH & Co KG i.Ins.,
79268 Bötzingen/DE

Bezeichnung: Verfahren zur schichtabtragenden 3-dimensionalen
Materialbearbeitung

IPC: B 23 K, B 44 C

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 22. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

Verfahren zur schichtabtragenden 3-dimensionalen Materialbearbeitung

Der schichtweise Abtrag einer Materialschicht einer dreidimensionalen Oberfläche, wie beispielsweise einer Form zur Herstellung einer beliebigen Oberflächenstruktur erfolgte

5 bisher mittels Ätzverfahren oder galvanischen Verfahren, bei welchen eine Positivform mit der gewünschten Oberflächengestaltung mit einem Metall überzogen worden ist, welches dann eine Negativform zur Herstellung des gewünschten Formteils oder der Folie ergibt. Diese Verfahrensvarianten erfordern immer eine große Anzahl von 10 Verfahrensschritten, um eine Negativform für nur eine einzige Oberflächenstruktur zu erhalten. Dies hat zur Folge, dass bei jeder Änderung der Oberflächenstruktur 15 dieselben Verfahrensschritte erneut anfallen.

Bislang sind vor allem zwei Verfahren verbreitet, um Werkzeuge zur Herstellung einer beliebig geformten, dreidimensionalen Oberfläche wirtschaftlich herzustellen, zum einen ist das die Ätznarbe, bei der die Oberfläche des Werkstücks unterschiedlich 20 maskiert wird und dann durch eine Ätzflüssigkeit selektiv abgetragen wird. Dieses Verfahren kann mit Einschränkungen auch schichtweise angewendet werden und erzeugt dann allerdings einen abgestuften Übergang zwischen Narbgipfeln und Narbtälern. Außerdem gibt es Schwierigkeiten bei komplizierten Geometrien der zu 25 narbenden Fläche.

Ein anderes Verfahren ist das sogenannte Galvano-Verfahren. Hierbei wird ein 30 Positivmodell, das sogenannte Beleiderungsmodell mit einer Folie (oder Leder) bezogen, die die gewünschte Narbe aufweist. In einem Abformverfahren wird dann die Narbe in ein Negativwerkzeug übernommen, das wiederum zur Herstellung eines (Positiv-) Badmodells verwendet wird. Auf dieses wird dann in einem Bad galvanisch eine Metallschicht aufgebracht. Das so erhaltene Galvanowerkzeug muss dann noch verstärkt werden, kann dann aber auch nur für bestimmte Verfahren zur 35 Teileherstellung zur Anwendung kommen, die seine Oberfläche nicht zu stark beanspruchen. Verbreitet sind vor allem das Slush-Verfahren und das Sprühhaut-Verfahren. Zudem ist jedes dieser letztgenannten Verfahren sehr zeit- und kostenaufwendig.

Aufgrund des großen Aufwandes, welcher mit den aus dem Stand der Technik vorbekannten und in industriellem Maßstab zum Einsatz kommenden Verfahren verbunden ist, gibt es Ansätze, die Oberflächenstruktur mit einem Abtragmittel 35 herzustellen. Ein vielseitig verwendbares Abtragmittel stellt ein Laser dar. Die

Technologie der Abtragung von Material mittels Laser ist aus DE3939866 A1 aus dem Bereich der Lasergravur bekannt.

Die Materialabtragung durch Verdampfen einer Oberflächenschicht mittels Laser ist aus DE4209933 C2 bekannt. Der Laserstrahl wird aufgeweitet und durch drehbare

5 Ablenkspiegel über eine von einem Rechner vorgegebene Bezugslinie geführt. Die Bezugslinien bilden ein Rasterfeld. Das Rasterfeld wird mehrmals vom Laserstrahl entlang winkelversetzter Bezugslinien abgefahren, wobei Material durch Verdampfung abgetragen wird. Durch die Variation der Richtung der Laserspuren durch Drehung in der Bearbeitungsebene um einen bestimmten Winkel werden systematische Überhöhungen in der Grenzschicht vermieden. Dadurch entsteht eine netzartige 10 Struktur der Rasterlinien. Diese Technologie findet ausschließlich auf zweidimensionale Oberflächen, also ebene Bauteile, Anwendung. Ziel der in der Patentschrift offenbarten Technologie ist ein gleichmäßiger Abtrag von Material im Rasterfeld.

15 Eine zeilenweise Führung des Lasers in Bahnen (Rasterlinien), bzw. Spuren, im jeweiligen Bearbeitungsfeld des Lasers wird in DE10032981 A1 offenbart. Die Spuren werden bereichsweise auf ein sich bewegendes Werkstück aufgebracht. Um zu vermeiden, dass sich im Überlappungsbereich der Spuren an den Bereichsgrenzen eine scharfe Trennlinie ausbildet, die durch übermäßigen Materialabtrag im

20 Überlappungsbereich entsteht, werden die Bereichsgrenzen bei jedem Abtrag versetzt. Mit anderen Worten, bei zeilenförmigem Abtrag eines Bereichs setzt der Laser am Rand nicht längs einer Linie ab, sondern fährt in die Nähe dieser Linie. Der Endpunkt der Abtragung liegt dann zwar in einem Abstandsbereich dieser Linie, dieser Abstandsbereich ist aber von Zeile zu Zeile verschieden. Da die Endpunkte sich somit

25 statistisch um den Mittelwert der Linie verteilen, kann kein optischer Defekt wahrgenommen werden. Dieses Verfahren eignet sich zum Abtrag von Rasterfeldern, welche auf einer Ebene liegen. Sobald die Rasterfelder aber eine Neigung gegeneinander aufweisen, wird durch das Abtragmittel eine andere Materialmenge abgetragen, wenn sich das Abtragmittel aus dem Rasterfeld entfernt. Somit müsste

30 jeder einzelne Endpunkt aufgezeichnet werden, der Materialabtrag bestimmt, und der für das benachbarte Rasterfeld vorgesehene Materialabtrag um den Fehlbetrag korrigiert werden. Aus diesem Grund ist das Verfahren für dreidimensionale Oberflächen nur unter hohem zusätzlichen Rechenaufwand anwendbar.

Die schichtweise Materialabtragung zur Erzeugung dreidimensionaler Strukturen in

35 ebenen Oberflächen wird in den beiden Patentschriften US6300595 B1 und US6407361 B1 offenbart. Dabei erfolgt die Materialabtragung aller Bearbeitungsfelder

bei jedem Bearbeitungsvorgang einer Schicht in einer Form, die eine rotationssymmetrische Ausnehmung in einer ebenen Oberfläche darstellt.

Nach der Lehre der DE10116672 A1 werden Grob- und Feinstrukturen unterschiedlich bearbeitet, wobei Feinbereiche mittels Laser und Grobbereiche mittels einer

5 Aushebevorrichtung bearbeitet werden. Diese Technologie eignet sich insbesondere für Bearbeitung von Metaloberflächen, welche beispielsweise auf Druckzylindern angeordnet sind. Die Grobbearbeitung erfolgt mittels mechanischer Abtragevorrichtungen.

Der Stand der Technik beschränkt sich auf die Bearbeitung ebener oder zylindrischer

10 Oberflächen. Bislang gibt es kein Verfahren, welches eine Oberflächenstruktur in eine beliebig geformte dreidimensionale Oberfläche einbringt.

Es ist Aufgabe der Erfindung eine Oberflächenstruktur, wie beispielsweise eine Narbe, auf beliebige dreidimensionale Oberflächen aufzubringen.

15 Die Aufgabe der Erfindung besteht somit darin, ein Verfahren zu entwickeln, das die Möglichkeit bietet, beliebig geformte Werkzeuge und Modelle mit einer dreidimensionalen Oberflächenstruktur zu versehen, die einer natürlichen oder anderen beliebigen Oberflächenstruktur möglichst nahe kommt. Eine derartige Oberflächenstruktur ist beispielsweise die Narbe des Leders, die dadurch

20 gekennzeichnet ist, dass Narbgipfel unterschiedliche Höhen und Ausdehnungen aufweisen und der Übergang zwischen Narbgipfeln und Narbtälern gleichmäßig verläuft.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, Trenn- oder Grenzlinien beim Materialabtrag zu vermeiden. Dazu müssen die aus dem Stand der Technik bekannten Methoden dahingehend modifiziert werden, dass das Abtragmittel anstatt in einem zweidimensionalen Koordinatensystem oder einem Zylinderkoordinatensystem in einem beliebigen dreidimensionalen Koordinatensystem arbeitet.

25 Ziel ist also die Entwicklung eines Verfahrens, das für verschiedene Arten von Materialien Verwendung finden kann, im Vergleich einem der angeführten Verfahren schnell durchführbar ist, und keine oder wenig Einschränkungen in Bezug auf die Geometrien verursacht. Zudem soll das erfindungsgemäße Verfahren Anwendung auf beliebige Materialkombinationen finden.

30 Diese Aufgaben der Erfindung werden durch nachfolgend beschriebenes Verfahren zur ein- oder mehrschichtigen Materialabtragung einer beliebig geformten dreidimensionalen Oberfläche mittels eines punktförmig auf eine Oberfläche wirkenden Abtragmittels, wie eines Lasergeräts, verwirklicht.

Das Verfahren zur ein- oder mehrschichtigen Materialabtragung einer beliebig geformten dreidimensionalen Oberfläche mittels eines punktförmig auf eine Oberfläche wirkenden Abtragmittels, wie eines mittels Laser arbeitenden Abtragmittels, bei welchem eine Oberflächenstruktur auf der dreidimensionalen Oberfläche erzeugt wird,

- 5 ist dadurch gekennzeichnet, dass der Oberfläche mindestens ein Rasterbild zugeordnet ist. Das Rasterbild stellt eine zweidimensionale Abbildung der dreidimensionalen Oberfläche dar. Das Rasterbild umfasst eine Anzahl Bildpunkte, die in der Folge auch als Pixel bezeichnet werden. Jedem Bildpunkt ist eine Graustufe zugeordnet, wobei die Graustufe ein Maß für die Tiefenabmessung der
- 10 Oberflächenstruktur ist. Für einen Abtrag, welcher keine sichtbaren Stufungen aufweisen soll, ist es vorteilhaft, wenn zwei benachbarte Graustufen einer Höhendifferenz von maximal $10 \mu\text{m}$ entsprechen. Damit ist jeder Graustufe die abzutragende Materialmenge zugeordnet. Für jeden Bildpunkt gleicher Graustufe wird dieselbe Materialmenge abgetragen. Sind mehrere Graustufen vorhanden, wird die
- 15 Materialmenge in Schichten abgetragen. Jede Graustufe entspricht einer Schicht, die beispielsweise durch den Einsatz eines Lasers abgetragen wird.
- 20 Jede Schicht wird in eine Schnittfläche der dreidimensionalen Oberfläche transformiert, wobei die Schnittfläche durch eine mathematische Funktion beschrieben wird. Diese mathematische Funktion ist Grundlage für die Steuerung eines Abtragungsmittels in einem dreidimensionalen Koordinatensystem. Als Schnittfläche wird dabei eine gekrümmte Fläche bezeichnet, welche parallel zu der mit einer Oberflächenstruktur zu versehenden Oberfläche verläuft. Da sie die Textur oder Oberflächenstruktur schneidet, wird eine derartige Oberfläche in der Folge als Schnittfläche bezeichnet. Im einfachsten Fall, nämlich einer ebenen Oberfläche, handelt es sich um eine Schnittebene. Diese Schnittfläche wird mit einem Netz aus 25 Polygonen überzogen. Das Abtragmittel, also beispielsweise der Laser nimmt innerhalb eines Polygons einen Materialabtrag vor, wenn das Polygon einer Graustufe zugeordnet ist. Jedes Polygon der Schnittfläche wird mit Bearbeitungsflächen überzogen, wobei die Bearbeitungsfläche im Bearbeitungsbereich des Abtragmittels
- 30 vollständig enthalten ist. Wenn das Abtragmittel ein Lasergerät ist, entspricht ein Bearbeitungsbereich dem Fokusbereich des Lasergeräts und umfasst mindestens ein Polygon. Innerhalb der Bearbeitungsfläche erfolgt entlang der Graustufen ein zeilenförmiger Materialabtrag. Die Polygone benachbarter Schnittflächen sind in vorteilhaften Ausgestaltungen zueinander versetzt oder gegeneinander gedreht
- 35 angeordnet. In einer weiteren Ausgestaltung ist es möglich, die Polygone benachbarter Schnittflächen zufällig zueinander anzurufen, wobei in jedem Fall gewährleistet sein

sollte, dass die Polygone von zwei benachbarten Schnittflächen keine gemeinsamen Kanten aufweisen.

Fig. 1a ist eine Darstellung einer dreidimensionalen Oberfläche mit einer

5 Oberflächenstruktur

Fig. 1b ist eine schematische Darstellung eines ersten Schrittes des Verfahrens

Fig. 1c ist eine schematische Darstellung eines zweiten Schrittes des Verfahrens

Fig. 1d ist eine schematische Darstellung eines dritten Schrittes des Verfahrens

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren für den schichtweisen selektiven Formabtrag an einem Werkstück. Dabei soll eine Struktur beispielsweise in der Form einer Narbe in das Werkstück eingebracht werden, welches in Fig. 1a als dreidimensionale Oberfläche 1 dargestellt ist, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Übergänge zwischen Narbgipfeln und Narbtälern möglichst gleichmäßig verlaufen. Des weiteren 15 sollen bezüglich der Topologie des Werkstückes möglichst wenig Einschränkungen notwendig sein, d.h. es erfolgt hier keine Beschränkung auf z.B. Zylinderflächen (vgl. DE 101 16 672 A1) oder auf die in US6300595 B1 und US6407361 B1 zu bearbeitenden ebenen Oberflächen.

20 Gemäß DE 4209933 C2 geschieht dies im beispielsweise durch das Verdampfen des Materials mittels eines Laserstrahles. Dieser wird rechnergesteuert entlang vorgegebener Rasterlinien über das Werkstück geführt. Bei großen Flächen geschieht die Bearbeitung im allgemeinen abschnittsweise (vgl. auch DE10032981 A1).

25 Bekanntermaßen lassen sich beispielsweise durch die Materialabtragung mittels Laser auch komplizierte Strukturen herstellen, dies wird beispielsweise bei der Mikrobearbeitung von Materialien ausgenutzt. Es gibt auch bereits Verfahren, um großflächig Material mit dem Laser abzutragen. Der Grund liegt darin, wie unter der Bewertung des Standes der Technik früher erwähnt wurde, dass die Polygone des Polygonnetzes nicht in einer Ebene liegen. Der Bearbeitungsbereich des Abtragmittels liegt allerdings in einer Ebene, was bedeutet, dass sich die Tiefe des Abtrags 30 verändert, sobald das Abtragmittel die Ebene verlässt. Bei Abtragen, welche im Bereich von wenigen µm liegen, entsteht sonst ein Fehler, der in der Oberflächenstruktur als störend auffällt.

35 Beliebige Oberflächen und Narben müssen derart dargestellt werden, dass sie mit einem bekannten Verfahren zur Abtragung von Material, insbesondere einem Laserverfahren, hergestellt werden können. Hierbei muss man zwischen der Beschreibung der Topologie, d.h. der Geometrie des Werkstücks und der Narbe

unterscheiden, das heisst, der gewürsichten Feinstrukturierung der Oberfläche, welche mit dem Werkstück durch einen formgebendes Verfahren erzeugt wird.

In der Automobilindustrie werden zur Topologie-Beschreibung von sogenannten Freiformflächen im allgemeinen NURBS (non-uniform rational B-Splines) eingesetzt.

5 Da man mit einer einzigen NURBS-Fläche eine komplexe Geometrie nicht zufriedenstellend beschreiben kann, werden mehrere sogenannte NURBS-Patches aneinandergesetzt. Oftmals werden diese vor dem zusammensetzen auch noch beschnitten (getrimmt), wozu auf den NURBS-Flächen liegende NURBS-Kurven eingesetzt werden.

10 Um das Verfahren zur ein- oder mehrschichtigen Materialabtragung einer beliebig geformten dreidimensionalen Oberfläche 1 mittels eines punktförmig auf diese Oberfläche wirkenden Abtragmittels durchzuführen, wird eine Oberflächenstruktur 2, welche sich auf der dreidimensionalen Oberfläche 1 befindet auf eine zweidimensionale Fläche projiziert. Dieser Fläche, nachfolgend als Schicht 8 bezeichnet, ist mindestens ein Rasterbild 3 zugeordnet. Das Rasterbild 3 stellt eine zweidimensionale Abbildung der dreidimensionalen Oberfläche 1 dar und ist in Fig. 1b beispielhaft dargestellt. Die beiden Oberflächenstrukturen 2 in Fig. 1a werden somit durch eine Vielzahl übereinander liegender Rasterbilder 3 beschrieben. Jedes Rasterbild 3 entsteht durch die Projektion eines Schnitts durch die Oberflächenstruktur 2 parallel zu der Abbildung der dreidimensionalen Oberfläche 1 dar. Wenn man einen Schnitt durch die dreidimensionale Oberflächenstruktur parallel zur Oberfläche 1 legt, wird eine Schnittfläche 10 erzeugt, welche auf eine zweidimensionale Schicht 8 projiziert wird. Die Umrisse der Rasterbilder 3 entsprechen dabei Höhenlinien in der Oberflächenstruktur 2. Mit diesem Verfahren ist es möglich, jede beliebige Oberflächenstrukturen 2 photographisch abzubilden. Durch Mittel zur Grafikbearbeitung kann jeder Schicht 8 eine Graustufe 5 zugeordnet werden. Oder umgekehrt können die Graustufen 5, welche sich aus der photographischen Abbildung ergeben, eindeutig einer Schicht 8 zugeordnet werden. Das Rasterbild 3 umfasst eine Anzahl Bildpunkte 4, die in der Folge auch als Pixel bezeichnet werden können. Jedem Bildpunkt 4 ist eine Graustufe 5 zugeordnet, wobei die Graustufe 5 ein Maß für die Tiefenabmessung 6 der Oberflächenstruktur ist. Der Umriss des Rasterbildes 3 entspricht dem zur Erzeugung der Oberflächenstruktur 2 erforderlichen Abtrag von Material. Für einen Abtrag, welcher keine sichtbaren Stufungen aufweisen soll, ist es vorteilhaft, wenn zwei benachbarte Graustufen 5 auf zwei Schichten 8, welche im Raum zwei Schnittflächen 10 bilden, einer Höhendifferenz von maximal 10 µm entsprechen. Damit ist jeder Graustufe 5 die abzutragende Materialmenge zugeordnet. Die Graduierung der

Graustufen ist im Prinzip beliebig, es können maximal 256 Graustufen realisiert werden. Wenn man die Genauigkeit der Bearbeitung über der Tiefenabmessung variiert will, ist es daher möglich, den Abstand der Graustufen, und somit den Abstand der Schichten 8 voneinander, einzustellen. Für jeden Bildpunkt 4 gleicher 5 Graustufe 5 wird dieselbe Materialmenge abgetragen. Sind mehrere Graustufen vorhanden, wird die Materialmenge in mehreren Arbeitsschritten abgetragen. Jede Graustufe entspricht einer Schicht, die durch ein Abtragmittel, wie beispielsweise durch den Einsatz eines Lasers 12, abgetragen wird. Je breiter die Schicht 8, desto 10 größer ist das abzutragende Volumen. Die Schichtbreite ist bei Verwendung eines Lasers 12 nur durch die Breite des Fokusquaders beschränkt, welcher in der Folge beschrieben werden soll. Um eine derartige Schicht 8 mit einem oder mehreren 15 Rasterbildern 3 zu bearbeiten, wird die zu der Schicht gehörende Schnittfläche 10 mit einer Vielzahl von aneinander angrenzenden Polygonen 9 überzogen. Der Laser nimmt innerhalb eines Polygons 9 einen Materialabtrag vor, wenn das 20 Polygon 9 einer Graustufe 5 zugeordnet ist. Die Polygone 9 werden auf der Schnittfläche 10, welche eine Parallelfläche zu der dreidimensionalen Oberfläche 1 darstellt, erzeugt, da die Schnittfläche 10 durch eine mathematische Funktion beschrieben werden kann. Diese mathematische Funktion ist Grundlage für die Steuerung eines Abtragmittels in einem dreidimensionalen Koordinatensystem. 25 Jede Schnittfläche 10 wird anschließend mit Bearbeitungsflächen 11 überzogen. Eine derartige Bearbeitungsfläche ist in Fig. 1d dargestellt. Die Bearbeitungsfläche 11 umfasst den Bearbeitungsbereich des Abtragungsmittels, wobei das Abtragungsmittel vorzugsweise ein Lasergerät ist. Im Prinzip ist es aber möglich, auch Kombinationen verschiedener Abtragungsmittel einzusetzen, wie in DE 30 10116672 A1 offenbart wird. Um diese Schnittfläche 10, in der Folge auch mit Topologie bezeichnet, mit dem Laser bearbeiten zu können, muss sie in Bearbeitungsabschnitte aufgeteilt werden. Die Bearbeitungsabschnitte entsprechen den in Fig. 1d dargestellten Bearbeitungsflächen 11. Da die Schnittfläche 10 als mathematische Funktion zumindest näherungsweise beschrieben werden kann, ist es möglich, wenn die optischen Eigenschaften des Lasergeräts bekannt sind, diese 35 Bearbeitungsabschnitte, welche im allgemeinen Bearbeitungsflächen sind, aus der Funktion zu errechnen. Die Größe der Bearbeitungsfläche 11 wird idealerweise so gewählt, dass er bei entsprechender Stellung des Scanners (möglichst näherungsweise senkrecht auf dem Bearbeitungsabschnitt) lediglich durch Einflussnahme auf die Galvanospiegel abgescannt werden kann. Des weiteren sollte die Entfernungänderung zwischen Scanner und Bearbeitungsfläche 11 gering

gehalten werden. Ziel muss bei der Wahl der Größe des Bearbeitungsfläche 11 in jedem Falle sein, dass weder durch die Winkelstellung des Lasers, noch durch die Veränderung des Abstandes zwischen der Bearbeitungsfläche und dem Scanner eine unerwünschte Änderung der Stärke des Materialabtrages erfolgt.

5 Die Bearbeitungsfläche 11 entspricht somit dem Fokusbereich des Lasergeräts und umfasst mindestens ein Polygon 9. Innerhalb der Bearbeitungsfläche 11 erfolgt entlang der Graustufen 5 ein zeilenförmiger Materialabtrag. Ein Bildpunkt 4 in der Graustufe 5 entspricht dem Durchmesser mindestens eines Laserlichtpunktes. Die Polygone 9 jeder Schnittfläche 10 sind in vorteilhaften Ausgestaltungen zueinander versetzt oder 10 gegeneinander gedreht angeordnet. In einer weiteren Ausgestaltung ist es möglich, die Polygone 9 jeder Schnittfläche 10 zufällig zueinander anzuordnen, wobei in jedem Fall gewährleistet sein sollte, dass die Polygone 9 von zwei benachbarten Schnittflächen 10 keine gemeinsamen Kanten aufweisen.

Bei jeder Bearbeitungsfläche 11 ist zu beachten, dass sie als ganzes im Fokus des

15 Lasers zu liegen kommt. Die Bearbeitungsfläche 11 ist ein Teil des Bearbeitungsbereichs. Den möglichen Bearbeitungsbereich bei einer bestimmten Position des Scanners kann man bei Einsatz einer Planfeldlinse durch den Fokus-Quader beschreiben. Seine Höhe, bei vorgegebenem maximalen Fehler der abgetragenen Schichtdicke, ist gegeben durch die maximale Fokustiefe (= Variation 20 der Brennweite) und seine Seitenlänge durch die entsprechende maximale Auslenkung der Galvanospiegel im Scanner.

Der Abstand zwischen Scanner und der Mittelebene des Quaders ist durch die Brennweite der Laseroptik gegeben. Innerhalb des Fokus-Quaders kann die Bearbeitungsfläche 11 durch ein weiteres Polygon oder Polygonnetz angenähert 25 werden, dessen Ecken alle auf einer Schnittfläche 10 liegen, die exakt den Abstand der Brennweite zu der Laseroptik hat und senkrecht zur Richtung des Laserstrahles in der Mittelstellung der Ablenkspiegel steht. Diesem Polygon entspricht nun ein Bearbeitungsabschnitt der zu bearbeitenden Schnittfläche 10, der durch Projektion des Polygons 9 auf die NURBS-Fläche entsteht und vollkommen im Inneren des Fokus- 30 Quaders liegen muss.

Die gesamte Topologie der zu bearbeitenden Schnittfläche 10 wird somit durch ein Gitternetz von zusammenhängenden Polygone 9 verschiedener Größe und Form beschrieben. Dabei sind die Polygonkanten unabhängig von den Rändern der die zu bearbeitende Fläche beschreibenden NURBS-Patches zu wählen, d.h. es kann und

35 wird vorkommen dass ein oder mehrere Punkte des Polygons 9 auf einem Patch liegen und ein oder mehrere Punkte des Polygons 9 auf dem angrenzenden NURBS-Patch.

Für die Beschreibung der Feinstruktur der Oberfläche wird jedem Polygon 9 zwecks der besseren Verarbeitbarkeit durch das Steuerprogramm des Lasers ein in der Folge als Bitmap bezeichnetes Rasterbild zugeordnet. Hierbei entspricht die Größe des Bildpunktes der Bitmap näherungsweise der Größe des Durchmessers des Laser-

5 Lichtpunkts und die Graustufe (Helligkeit) des Bildpunktes der Tiefe der Struktur an diesem Punkt. Ein weißer Punkt würde zum Beispiel bedeuten, das überhaupt kein Material abgetragen wird, während ein schwarzer Punkt maximalen Materialabtrag bedeuten würde (oder umgekehrt).

10 Eine noch höhere Genauigkeit kann durch eine Beschreibung des Laserpunktes durch mehrere Bildpunkte in der Bitmap erreicht werden, wobei auf den unterschiedlichen Materialabtrag quer über den Durchmesser des Laserpunktes zurückgerechnet werden kann. Der Nachteil besteht in der Vergrößerung der Bitmap und der entsprechend höhere Speicherbedarf und Rechenaufwand in der Steuerelektronik.

15 Die Codierung der Bitmap entspricht hierbei der maximalen Schichtenzahl, das heißt bei 256 Graustufen (= 8 bit) je Bildpunkt können maximal 256 Schichten dargestellt werden. Zur Abspeicherung dieser Bitmap sind verschiedene Computerformate mit entsprechenden Komprimierungsalgorithmen bekannt, die eine sehr starke Verringerung des Speicherbedarfes zur Folge haben.

20 Im allgemeinen Fall wird das Polygon selten eine quadratische Form haben. Daher erfolgt eine Zuordnung der Eckpunkte des Polygons im dreidimensionalen Raum zu jeweils einem entsprechenden Punkt auf der Bitmap in 2D-Koordinaten (Texturkoordinaten).

25 Es ist bei entsprechender Anordnung der Polygone auch möglich, die Texturkoordinaten mehrerer Polygone auf einer Bitmap zusammenzufassen.

30 Außerdem kann beim Errechnen und Abspeichern der Polygone und zugehörigen Bitmaps auch schon eine Winkelrichtung für die Laserspuren (vgl. DE 42 09 933 C2) vorgegeben werden. Die Laserspuren brauchen den Rasterlinien der Bitmap nicht unbedingt zu folgen, sondern es können Verfahren der Computergrafik zum Einsatz kommen, die für eine schräg zu den Rasterlinien verlaufende Laserspur die

35 Helligkeitswerte errechnen, unter Verwendung von Antialiasing-Algorithmen. (vgl. eine diagonal auf einem Computerbildschirm verlaufende Linie).

Bei der Bearbeitung des Werkstückes muss ein Lasergerät zum Einsatz kommen, bei dem der Scanner, in dem sich die Galvanospiegel befinden, in Bezug auf das Werkstück eine ausreichende Beweglichkeit aufweist, um eine Position anfahren zu können, die sich möglichst senkrecht relativ zu jedem Polygon im Abstand der

Brennweite der Laseroptik befindet, d.h. die derjenigen Position entspricht, die bei der Berechnung der Polygone zugrunde gelegt wurde.

Für die Steuerung des Lasergerätes im Sinne einer wirtschaftlichen Bearbeitung ist es vonnöten, die Polygone im Datensatz so zu ordnen, dass sie von der Steuerelektronik in einer Reihenfolge eingelesen werden, die möglichst geringe Verfahrwege des Scanners zur Folge hat.

Eine weitere Aufgabe besteht in der Vermeidung von Trennlinien, die in dem Bereich entstehen, in dem eine Laserspur endet und die nächste beginnt (vgl. DE10032981 A1). Die Gefahr besteht insbesondere an den Kanten, an denen zwei Polygone aneinander stoßen.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass die Schichtdicke so stark herabgesetzt wird, dass die entstehende Grenzlinie in der Höhe vernachlässigbar klein im Vergleich zu der Gesamthöhe der Oberflächenstruktur, wie beispielsweise einer Ledernarbe, ist und somit nicht mehr sichtbar ist. Die Addition des Trennlinien-Fehlers an den

Polygonkanten wird dadurch vermieden, dass jeder abzutragenden Schnittfläche 10 ein eigenes unabhängiges 3-dimensionales Polygonnetz zugeordnet wird. Dieses kann völlig frei gewählt werden, unter Beachtung der obengenannten Vorgaben.

Außerdem muss beachtet werden, dass sich Polygonränder benachbarter Schnittflächen 10 zwar überschneiden (das ist unvermeidlich), aber keinesfalls übereinander liegen dürfen: Ansonsten addiert sich der Trennlinien-Fehler. Das bedeutet, bei Betrachtung eines beliebigen Punktes auf der zu bearbeitenden Schnittfläche des Werkstückes und einem Materialabtrag in n Schichten, dass dieser Punkt zu n verschiedenen Polygonen „gehört“.

Bezugszeichenliste

1. Oberfläche
5. 2. Oberflächenstruktur
3. Rasterbild
4. Bildpunkt
5. Graustufe
6. Tiefe
10. 7. Höhendifferenz
8. Schicht
9. Polygon
10. Schnittfläche
11. Bearbeitungsfläche
15. 12. Laser
13. Lasergerät

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zur ein- oder mehrschichtigen Materialabtragung einer beliebig geformten dreidimensionalen Oberfläche (1) mittels eines punktförmig auf eine Oberfläche wirkenden Verfahrens, wie eines mittels Laser arbeitenden Verfahrens, bei welchem eine Oberflächenstruktur (2) auf der dreidimensionalen Oberfläche (1) erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Oberfläche (1) mindestens ein Rasterbild (3) zugeordnet ist.

10 2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das Rasterbild (3) eine zweidimensionale Abbildung der dreidimensionalen Oberfläche (1) ist.

15 3. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das Rasterbild (3) Bildpunkte (4) umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass jedem Bildpunkt (4) eine Graustufe (5) zugeordnet ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Graustufe ein Maß für die Tiefe (6) der Oberflächenstruktur (2) ist.

20 6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Graustufe (5) die abzutragende Materialmenge zugeordnet ist.

25 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Bildpunkt (4) gleicher Graustufe (5) dieselbe Materialmenge abgetragen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 8, gekennzeichnet dadurch, dass die Summe aller Rasterbilder (3) gleicher Graustufe zu einer Schicht (8) gehört.

30 9. Verfahren nach Anspruch 8, gekennzeichnet dadurch, dass jede Schicht (8) mit einer Vielzahl von aneinander angrenzenden Polygonen (9) überzogen wird.

35 10. Verfahren nach Anspruch 9, gekennzeichnet dadurch, dass die Polygone (9) in eine Schnittfläche (10) der dreidimensionalen Oberfläche (1) transformiert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet dadurch, dass die Schnittfläche (10) durch eine mathematische Funktion beschrieben wird.
12. Verfahren nach Anspruch 11, gekennzeichnet dadurch, dass die mathematische Funktion Grundlage für die Steuerung des Lasers (12) in einem dreidimensionalen Koordinatensystem ist.
13. Verfahren nach Anspruch 12, gekennzeichnet dadurch, dass jede Schnittfläche (10) abschnittsweise mit Bearbeitungsflächen (11) überzogen wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, gekennzeichnet dadurch, dass die Bearbeitungsfläche (11) im Bearbeitungsbereich des Lasers (12) enthalten ist.
15. Verfahren nach Anspruch 13, gekennzeichnet dadurch, dass die Bearbeitungsfläche (11) mindestens ein Polygon (9) der Schnittfläche (10) umfasst.
16. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass der Laser (12) innerhalb eines Polygons (9) einen Materialabtrag vornimmt, wenn das Polygon (9) einer Graustufe (5) zugeordnet ist, welche der Graustufe der Schnittfläche (10) entspricht.
17. Verfahren nach Anspruch 13, gekennzeichnet dadurch, dass innerhalb der Bearbeitungsfläche (11) ein zeilenförmiger Abtrag erfolgt.
18. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass die Polygone (9) von je zwei benachbarten Schnittflächen (10) zueinander versetzt angeordnet sind.
19. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass die Polygone (9) von je zwei benachbarten Schnittflächen (10) zueinander gedreht angeordnet sind.
20. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass die Polygone (9) von je zwei benachbarten Schnittflächen (10) zufällig zueinander angeordnet sind.
21. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass die Polygone (9) von je zwei benachbarten Schnittflächen (10) unterschiedliche Größe aufweisen.

22. Verfahren nach Anspruch 15, gekennzeichnet dadurch, dass die Polygone (9) von zwei benachbarten Schnittflächen (10) keine gemeinsamen Kanten aufweisen.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Verfahren zur ein- oder mehrschichtigen Materialabtragung einer beliebig geformten dreidimensionalen Oberfläche 1 mittels eines punktförmig auf eine 5 Oberfläche wirkenden Abtragungsmittels, wie mittels eines Lasers, bei welchem eine Oberflächenstruktur 2 auf der dreidimensionalen Oberfläche eingearbeitet wird, kann derart durchgeführt werden, dass die Oberfläche auf ebene Schichten 8 abgebildet wird, wobei die Oberflächenstruktur durch Rasterbilder 3 beschrieben wird. Diese Rasterbilder weisen Graustufen 5 auf. Die Graustufen 5 entsprechen der Tiefe der 10 Oberflächenstruktur 2. Die Schichten 8 werden in Schnittflächen 10 transformiert, welche mit einem Polygonnetz überzogen werden, welches dem Bearbeitungsbereich des Abtragmittels zugeordnet ist. Durch die Verwendung von Polygonnetzen ist ein sehr genauer Abtrag bei einer beliebig geformten Oberflächenstruktur möglich.

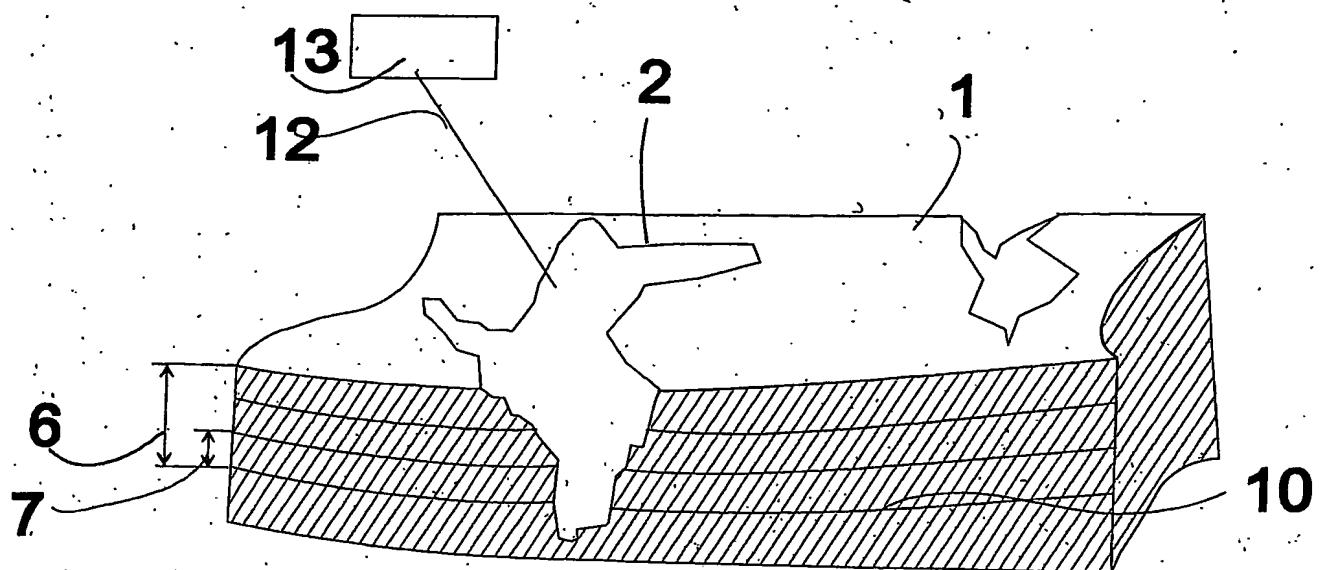


Fig. 1a

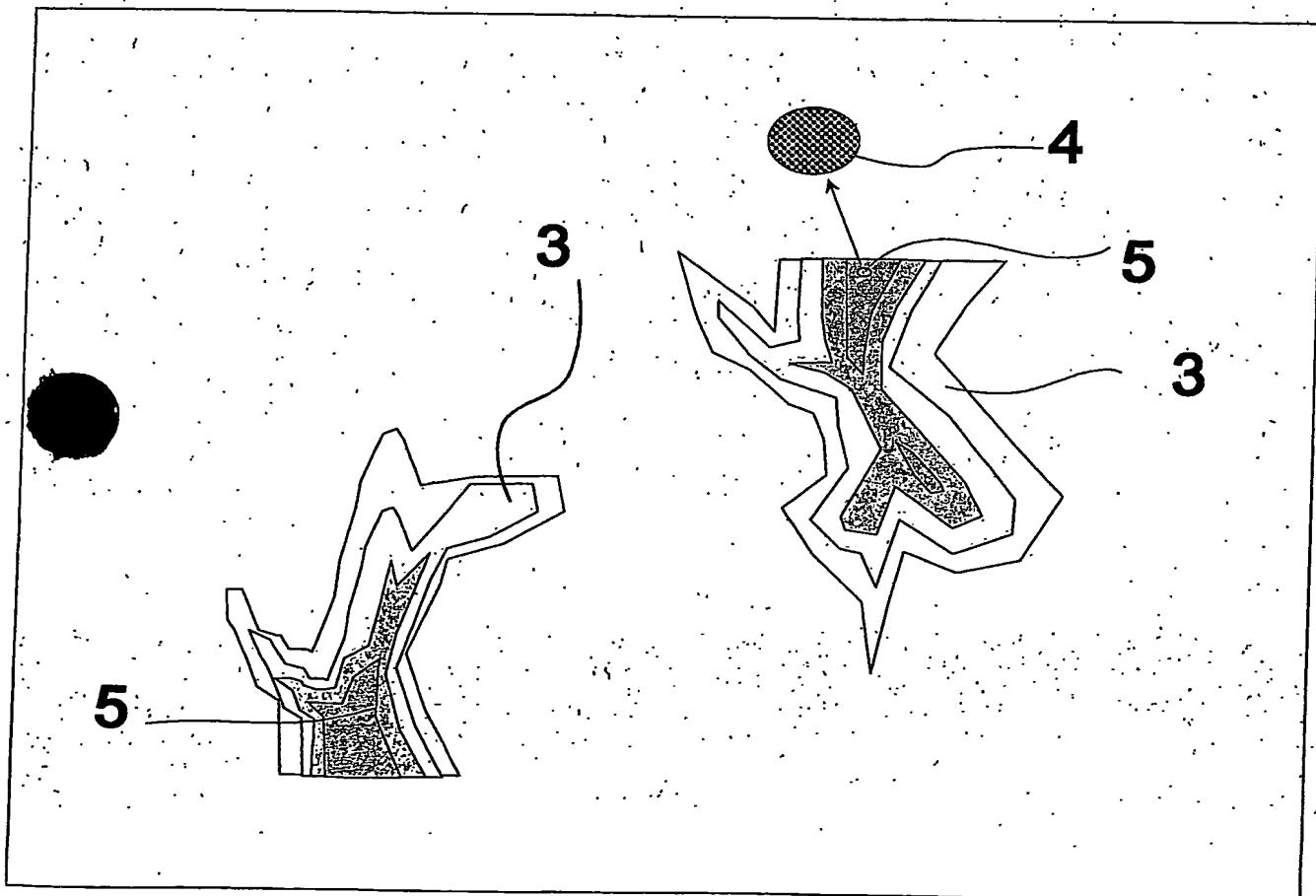


Fig. 1b

3

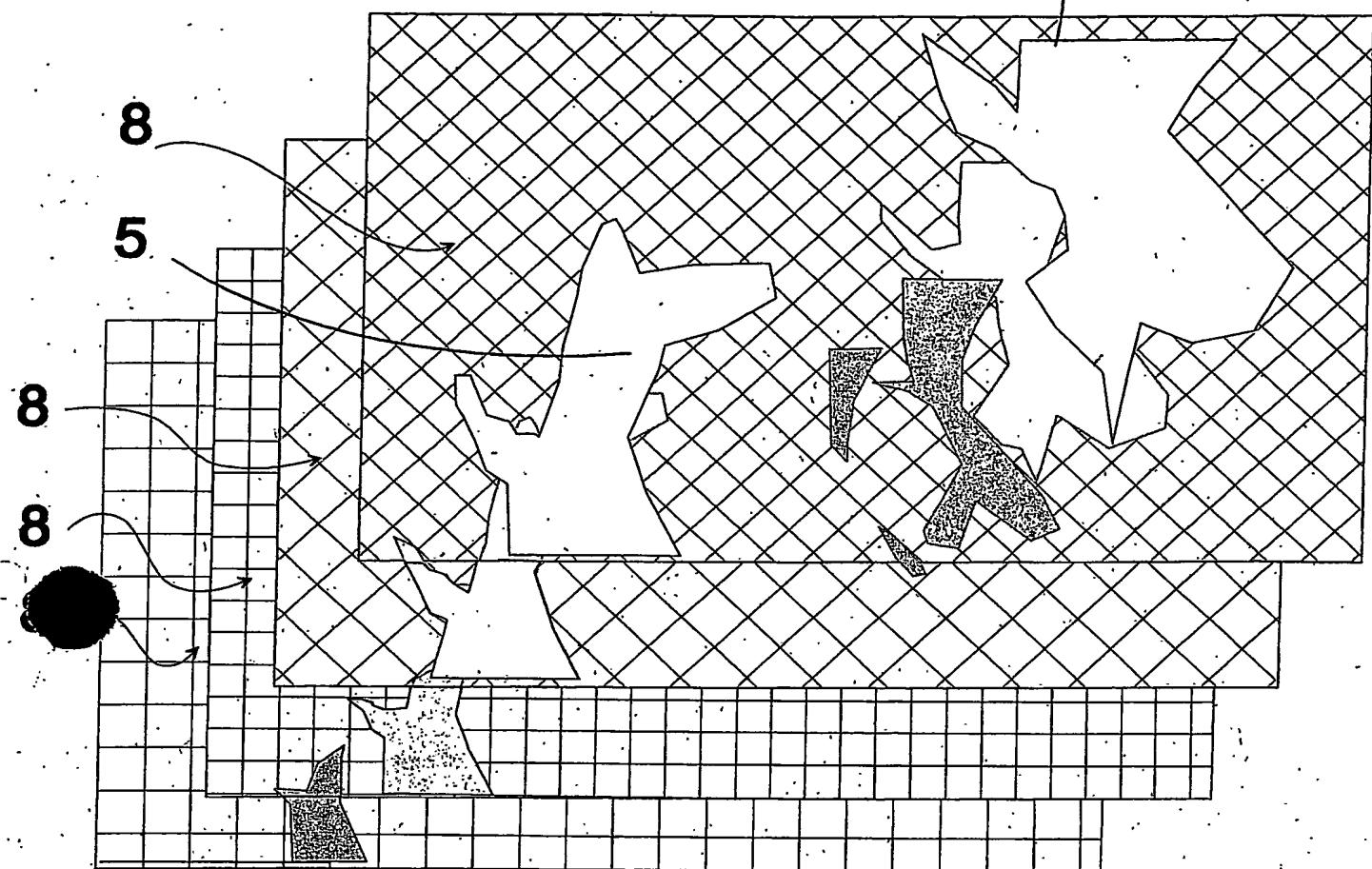


Fig. 1c

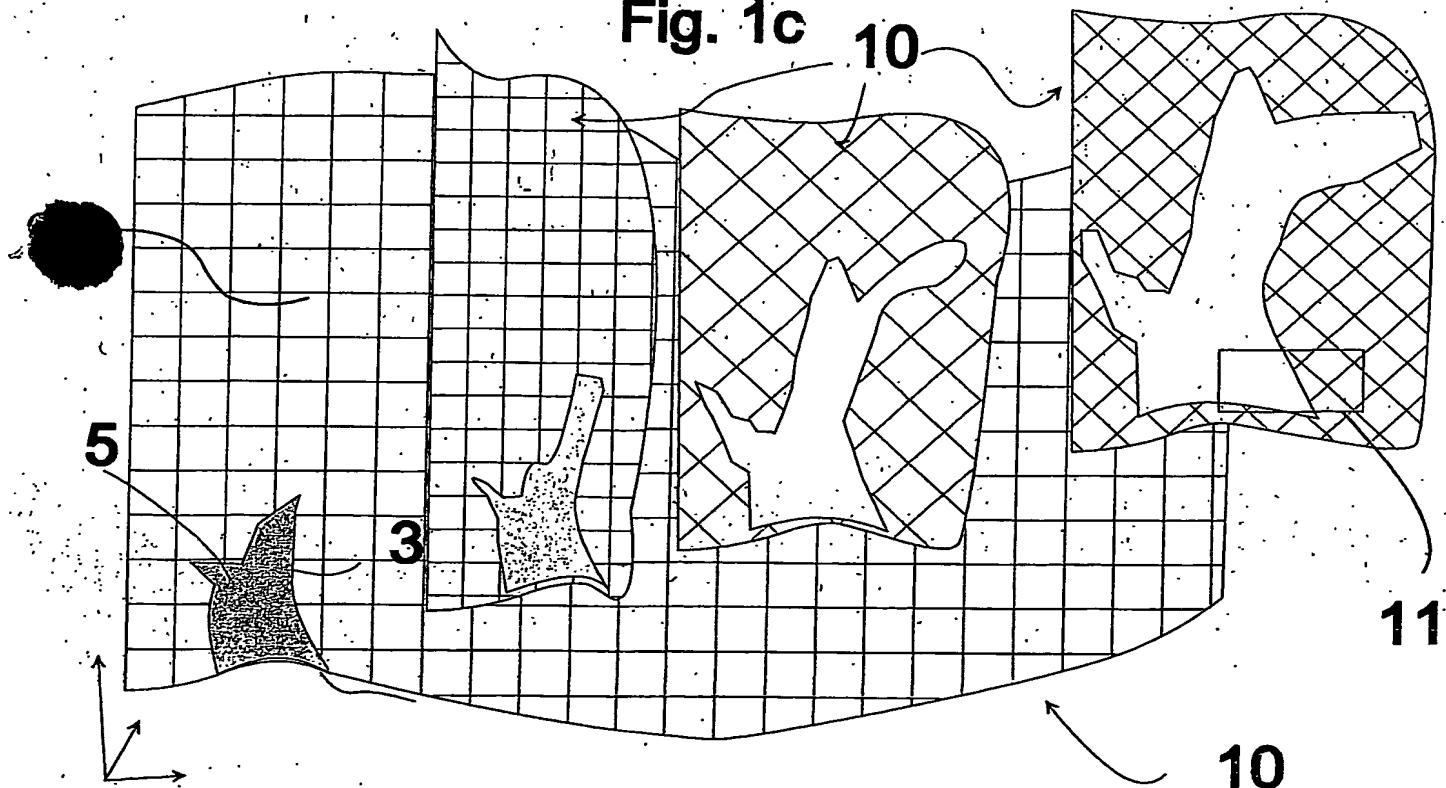


Fig. 1d